44° Convegno Internazionale
dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione
Congresso della Unione Italiana per il Disegno

Remote sensing e rilievo architettonico per il restauro della moschea Al Raabiya a Mosul (Iraq)

Stefano Bertocci
Matteo Bigongiari

Abstract

Il testo presenta il progetto di rilievo e documentazione digitale della Moschea di Al-Raabiya a Mosul (Iraq). Il centro storico di Mosul è stato fortemente danneggiato dalle guerre contro il Daesh, ed oggi sono forti sia la volontà e sia gli sforzi economici per la ricostruzione del Patrimonio. Il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze ha preso parte al progetto di restauro di questo complesso religioso seguendo le fasi di rilievo remote sensing, laser scanner e fotogrammetrico, e di restituzione grafica degli elaborati bidimensionali preliminari alla fase di progettazione. Sono stati inoltre condotti approfondimenti tematici che hanno messo in evidenza la matericità delle superfici, il loro stato di conservazione e le deformazioni plastiche delle strutture murarie. Le informazioni così raccolte sono state utilizzate per guidare nelle scelte progettuali e di restauro i colleghi del team di lavoro coordinato da Archimedia Trust.

Parole chiave
Mosul, remote sensign, rilievo digitale, restauro

Sezione estratta dalla nuvola di punti della Moschea Al-Raabiya. Elaborazione grafica degli autori.

doi.org/10.3280/oa-1016-c413

Introduzione

Lo scopo di questo paper è presentare il progetto di documentazione e rilievo architettonico digitale della moschea Al-Raabiya di Mosul (Iraq) iniziato nel Giugno 2021; la documentazione di questo monumento è finalizzata alla sua ricostruzione e restauro, con il fine di restituire un punto di riferimento sociale alla comunità del centro storico di Mosul con la riqualificazione del complesso della Moschea di Al-Raabiya; le operazioni di rilievo sono quindi state finalizzate all'acquisizione delle conoscenze morfologiche, quantitative e qualitative dei fabbricati, che potessero supportare scientificamente la redazione di un progetto di recupero e restauro del complesso religioso, che nel 2017 ha subito ingenti danni, come la maggior parte del centro storico della città, a causa della guerra per la liberazione della città dalle milizie del *Daesh* (fig. 1). La città di Mosul, a seguito delle disgrazie della guerra, appare come un grande cantiere di restauro, dove organizzazioni internazionali hanno iniziato a lavorare per riaprire i principali monumenti civili e religiosi e per rimettere in funzione i luoghi dell'abitare, tutti violentemente colpiti dai bombardamenti.
Il ruolo del gruppo di lavoro dell'Università di Firenze, Dipartimento di Architettura, ha previsto il supporto scientifico in tutte le fasi di progetto, più attivamente nelle prime fasi di acquisizione e restituzione dei rilievi architettonici, più a livello di consulenza sulle decisioni operative di progetto, supportando le decisioni dei restauratori e progettisti strutturali.
La moschea Al-Raabiya è un complesso religioso del centro storico di Mosul, di modeste dimensioni rispetto alle moschee maggiori della città (Al Noori). Nel corso del tempo il complesso è stato più volte ingrandito e restaurato pesantemente fino ad apparire oggi come un edificio rettangolare circondato su tre lati da portici su cui si affacciano le scuole coraniche; è posizionato in angolo ad un isolato del centro storico, ben identificato dal minareto in acciaio, non certo dalle pareti perimetrali spoglie rivestite con pietra locale, senza nessuna apertura se non il portale di ingresso, di piccola dimensione. Dal portale si accede al cortile, un deserto di sabbia che prima della guerra era un giardino fiorito, circondato da tre lati dalle stanze della Madrasa (l'ampliamento in cemento armato degli anni 90) e sullo sfondo la moschea, a sua volta porticata sul lato du accesso su cui si intravede la grande cupola (fig. 2). Le forme dell'edificio religioso a sua volta risalgono ad un restauro degli anni '90 che ha aggiunto il portico esterno ed un tamburo per slanciare la cupola che oggi è stata rivestita con un nuovo strato azzurro, fortemente danneggiato dai bombardamenti (fig. 3). Sulla destra della moschea un edificio su due livelli, che segue la topografia dell'isolato, in forte pendenza verso l'ingresso, destinato ai servizi igienici necessari a prepararsi per la preghiera mussulmana.

Fig. 1. Planimetrie satellitari che mostrano lo stato di conservazione della moschea prima (2014) e dopo i bombardamenti (2018). Google Earth.

Metodologie

Il rilievo laser scanner della Moschea Al-Raabiya è stato progettato per realizzare una nuvola di punti che descrivesse tutte le superfici dell'architettura con una definizione tale da consentire la produzione di disegni architettonici in scala 1:50: ovvero da utilizzare per inserire i

Fig. 2. Vedute dell'edificio di culto dall'ingresso del complesso prima e dopo i bombardamenti. Fotografie degli autori.

Fig. 3. Vista dell'edificio principale prima della campagna di rilievi, giugno 2020. Fotografia degli autori.

risultati delle indagini diagnostiche da cui si sarebbe potuto verificare la presenza di degrado materico e strutturale e valutare eventuali meccanismi di dissesto ancora in atto [Bigongiari 2020]. Le scansioni sono state effettuate con uno strumento Faro Focus S350, le cui caratteristiche hanno consentito il rapido completamento di misurazioni altamente affidabili, e con elevato raggio di misurazione. Il risultato delle acquisizioni ha prodotto una nuvola di punti in coordinate locali risultante dall'allineamento di 145 scansioni. Il corretto processo di registrazione è stato verificato allineando scansioni consecutive ad alto margine di sovrapposizione con processi *cloud-to-cloud*, imitando la costruzione di poligonali topografiche, per poter calcolare l'errore su un perimetro chiuso; i valori di errore ottenuti sono stati verificati sezionando il modello in più punti con piani orizzontali e verticali, controllando il corretto allineamento dei punti delle differenti acquisizioni. Nonostante la presenza di vegetazione, che rende meno affidabili gli allineamenti *cloud-to-cloud*, i risultati hanno garantito errori inferiori ad 1,5 cm, misurati sulla distanza dei punti di scansioni differenti sui fili di sezione (figg. 4, 5).
Il rilievo fotogrammetrico 3D, realizzato parallelamente alle acquisizioni *range based*, è stato finalizzato a produrre immagini rettificate delle superfici architettoniche da utilizzare per la restituzione delle indagini diagnostiche e per integrare quelle porzioni del modello difficilmente misurabili da terra; sono state realizzate numerose campagne di acquisizione utiliz-

Fig. 4. Vista planimetrica della nuvola di punti ottenuta da dati laser scanner del complesso. Elaborazione grafica degli autori.

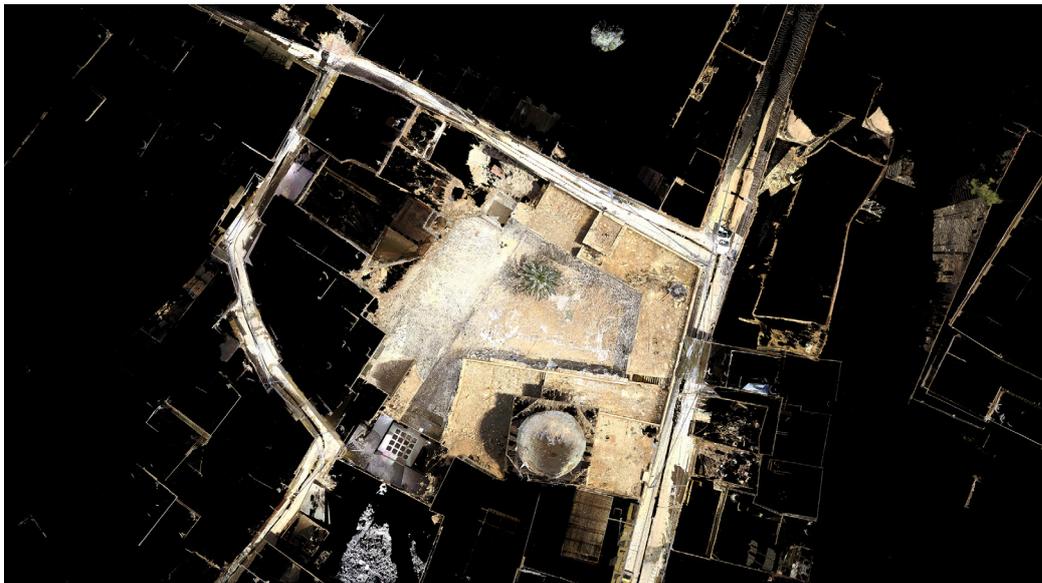
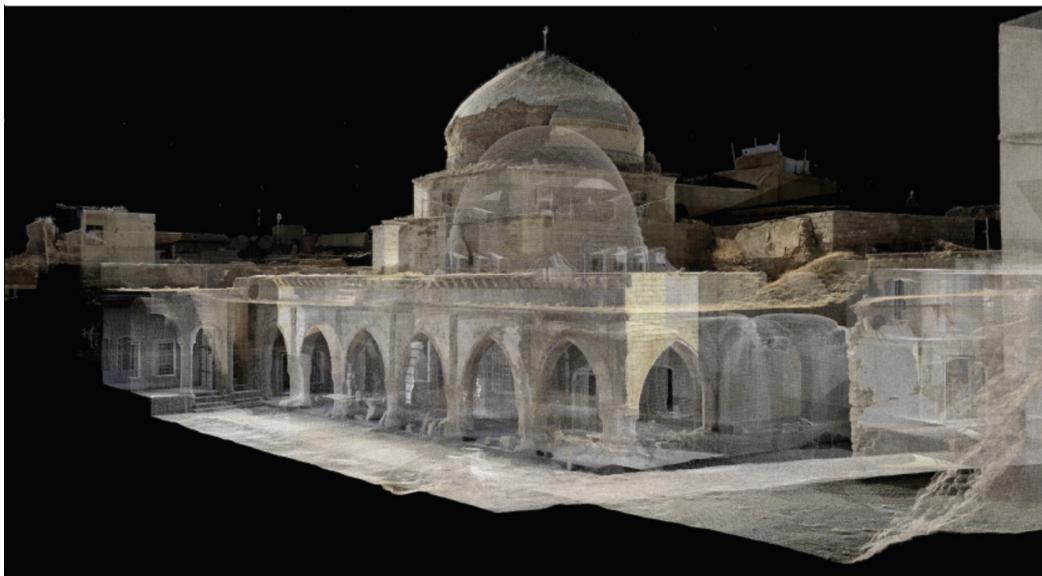



Fig. 5. Vista della nuvola di punti del complesso sezionata. Elaborazione grafica degli autori.

zando sia camere da terra che montate su droni. Il rilievo fotografico della moschea è stato complesso a causa di una serie di condizioni di illuminazione sfavorevoli dovute al forte contrasto tra spazi interni ed esterni. Le campagne di ripresa fotografica sono state organizzate per risolvere queste difficoltà e per ottenere un modello che potesse descrivere le caratteristiche delle superfici con una definizione almeno in scala 1:50. È stata utilizzata una fotocamera *full frame* Sony A7R II (sensore CMOS da 42,4MP) mirrorless, in modo da garantire un alto livello di definizione, che fosse in grado di descrivere le pareti nei suoi dettagli. Le acquisizioni da drone sono invece state realizzate con un drone DJI Phantom 3. Per ricostruire al meglio le superfici della moschea, si è deciso di riprendere inquadrature seguendo tre livelli di indagine: un primo da terra, muovendo intorno all'oggetto a distanza ravvicinata, un secondo aereo che riprende immagini nadirali, un terzo ancora aereo ma inclinando la telecamera verso gli alzati per riprendere al meglio le pareti verticali [Gaiani 2015]. Per la prima sequenza, da terra, è stato utilizzato un obiettivo Sony FE 28mm f/2 28mm, ideale per muoversi intorno agli oggetti anche a distanze ravvicinate, inferiori ai 2 metri: con questo obiettivo sono state acquisite tutte le superfici esterne ed interne della moschea. Le sequenze esterne hanno utilizzato l'ottica fissa del drone.

Prima di procedere con l'elaborazione dei dati per la ricostruzione della scena tridimensionale, è stato effettuato un attento controllo di qualità sui fotogrammi: si è sempre cercato di mantenersi entro i tempi di scatto di sicurezza per evitare l'effetto micromosso [Forti 2006]. Per questo motivo le foto in formato .raw sono state importate in un apposito software con lo scopo di verificarne la corretta messa a fuoco e regolarne i parametri, equalizzando il bilanciamento del bianco. Infine, si è resa l'esposizione delle superfici più omogenea variando il parametro in base al tempo di scatto del fotogramma.
Se nel caso del rilievo laser scanner è possibile valutare la definizione direttamente dallo strumento, per quanto riguarda il rilievo fotografico, deve essere progettata sulla base della quantità di *pixel* con cui vengono definite le superfici [Colomina 2014; Multiyroso, Grussenmeyer 2017]. Le acquisizioni fotografiche hanno mantenuto un rapporto di almeno 6px/cm con un margine minimo di sovrapposizione tra fotogrammi contigui del 50% [Pancani 2016]. Non è stato possibile utilizzare target a terra da misurare con strumenti GPS per complessità dovute alla lettura dei dati satellitari in Iraq. Al termine della fase di raccolta dati, migliaia di immagini sono state importate e orientate nel software Agisoft Metashape durante il processo di ricostruzione 3D (figg. 6. 7). La nuvola di punti fotogrammetrica è stata poi scalata sulla base della nuvola di punti del laser scanner per verificare gli errori del rilievo. L'unione dei modelli è avvenuta per punti di controllo evidenziando errori di allineamento inferiori a 1,5 cm. Durante questa elaborazione sono stati legati insieme le varie componenti dei modelli fotogrammetrici con l'utilizzo di punti di controllo.
La verifica dell'affidabilità delle ricostruzioni è avvenuta attraverso il confronto tra i diversi sistemi di rilievo tridimensionale: il rilievo ha integrato diverse metodologie, producendo differenti copie digitali della moschea con diversi livelli di affidabilità. Possiamo sintetizzare le acquisizioni in due diversi sistemi di ricostruzione: laser scanner, SfM. Il primo di questi metodi di misura è in grado di fornire una misura entro determinati parametri di errore: la singola scansione da laser scanner infatti, a seconda del modello di strumento, garantisce un'elevata affidabilità, nel nostro caso millimetrica. Purtroppo non si può dire lo stesso delle ricostruzioni fotogrammetriche, sebbene il posizionamento del punto di scatto sia avvalorato dalla presenza sul drone di un GPS: il posizionamento del punto di scatto, infatti, non garantisce la corretta ricostruzione delle nuvole di punti che vengono influenzate da numerose problematiche legate alla sorgente luminosa [Pancani, Bigongiari 2020]. Per questo, dopo un accurato controllo del processo di registrazione si è preso come base morfologica il rilievo laser scanner, le cui coordinate polari sono state utilizzate per verificare i punti di controllo del rilievo fotogrammetrico, sia da terra che dal drone.
Il modello finale ha evidenziato discostamenti dal modello laser scanner minimi, inferiori ad 1 cm eccetto che per le aree costruite all'esterno del fabbricato, ai margini del modello

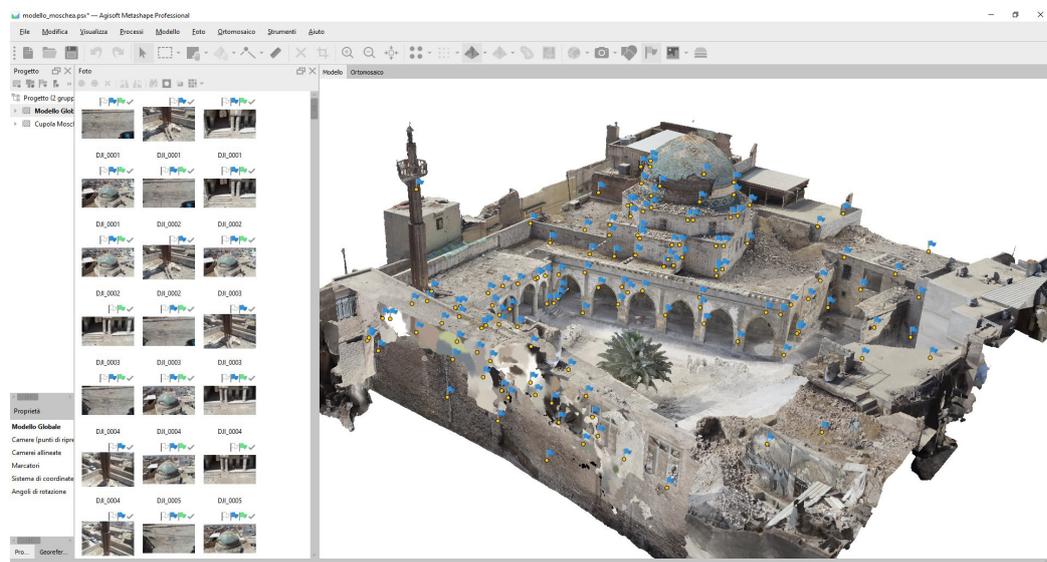



Fig. 6. Vista del modello ottenuto dalle fotografie da terra e da drone con applicati i punti di controllo per la verifica dell'affidabilità. Elaborazione grafica degli autori.

Fig. 7. Planimetria del complesso ottenuta attraverso l'ortofoto del modello fotogrammetrico. Elaborazione grafica degli autori.

ricostruito. Entrambi i database sono stati sottoposti a protocolli di certificazione dei dati al fine di verificare l'affidabilità sia della registrazione delle scansioni che della calibrazione dei fotopiani sulla nuvola di punti [Pancani 2017].
A seguito della campagna di rilievo è iniziata la fase di post produzione dei dati raccolti con la creazione di un database contenente tutto il materiale acquisito tramite laser scanner, reflex e drone. Il fine della catalogazione di suddetto materiale ha la valenza di semplificare il lavoro di controllo, anche a distanza di tempo, quindi di interrogazione e creazione di output 2D/3D che serviranno allo studio, confronto e analisi del presente caso studio. I dati raccolti vengono elaborati per produrre disegni bidimensionali dello stato di conservazione della moschea e dei suoi locali (figg. 8, 9), da confrontare e analizzare nella preparazione di un progetto di restauro dell'intero complesso monumentale. Obiettivo del rilievo è quello di porre particolare attenzione a tutte quelle caratteristiche dell'oggetto architettonico che possono fornire importanti informazioni sul manufatto. Risulta quindi fondamentale identificare le parti strutturali in una scala di dettaglio utile alla definizione delle diverse sezioni murarie, al processo di lavorazione della pietra e ai rapporti tra muratura o elementi architettonici adiacenti. Oltre agli studi morfologici, per determinare queste caratteristiche, sono necessarie informazioni fotografiche dettagliate; i dati fotografici infatti facilitano il processo di rilevamento delle unità stratigrafiche ed è proprio nella gestione del dato grafico che la fotografia risulta essere di fondamentale importanza poiché risulta essere l'espressione di un dato più oggettivo rispetto al disegno *wireframe* delle pietre, che dipende chiaramente dall'interpretazione soggettiva del disegnatore [Bertocci, Arrighetti, Bigongiari 2019].
Nella prima fase di studio e analisi sono stati quantificati un numero minimo di sezioni e prospetti da cui poter ottenere una base documentale per supportare la progettazione del restauro. Tutto il materiale è stato quindi inserito in ambiente CAD 2D per la realizzazione di disegni vettoriali dove poter leggere le caratteristiche materiche e strutturali dell'architettura. È stata portata avanti un'analisi del degrado superficiale della muratura seguendo le norme (UNI e Normal) che prevedono l'utilizzo di polilinee e retini identificativi. Per una più semplice individuazione dei fenomeni di degrado dei materiali lapidei costituenti le superfici esterne degli edifici, è stata riportata una tavola sinottica nella quale sono stati classificati secondo la loro descrizione, le cause da cui sono generati, la riproduzione fotografica e la rappresentazione grafica sugli elaborati (fig. 10).

Fig. 8. Sezione che mostra la facciata della moschea con applicata l'ortofoto ottenuta dal modello fotogrammetrico. Elaborazione grafica degli autori.

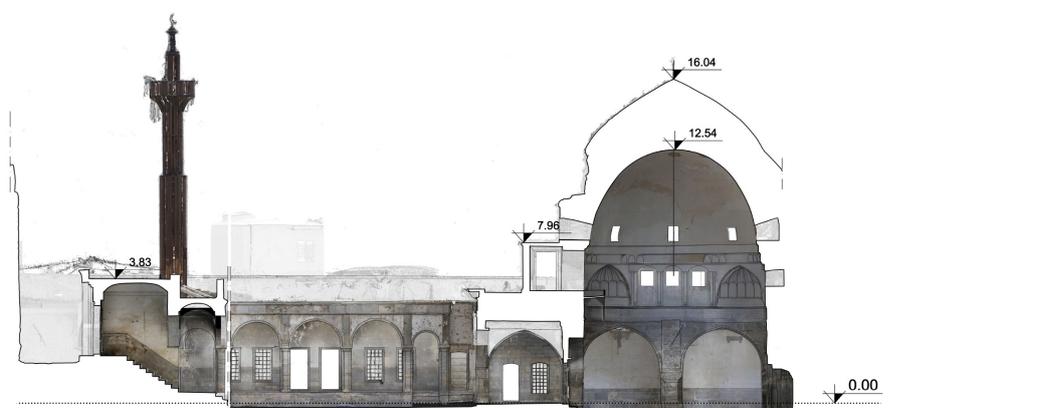



Fig. 9. Sezione che taglia al centro della cupola della moschea con applicata l'ortofoto ottenuta dal modello fotogrammetrico. Elaborazione grafica degli autori.

Come risultato di questa analisi, sono state identificate e quantificate le aree maggiormente sottoposte a degrado, consentendo di stimare le spese per le operazioni di pulizia e ripristino della muratura.
Particolare attenzione è stata dedicata all'identificazione delle unità strutturali e degli aggregati che compongono l'edificio e all'analisi del loro comportamento statico. Per verificare la stabilità strutturale delle murature sono state realizzate mappe grafiche che

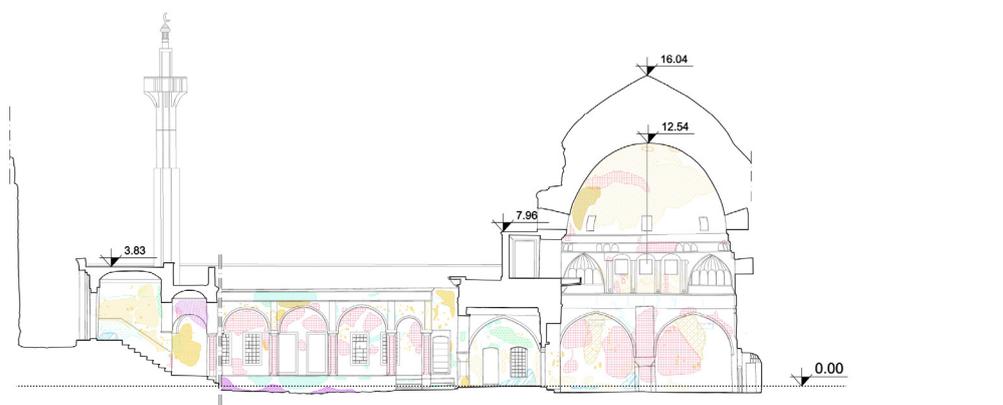



Fig. 10. Elaborato che mostra la mappatura dei degradi delle superfici. Elaborazione grafica degli autori.

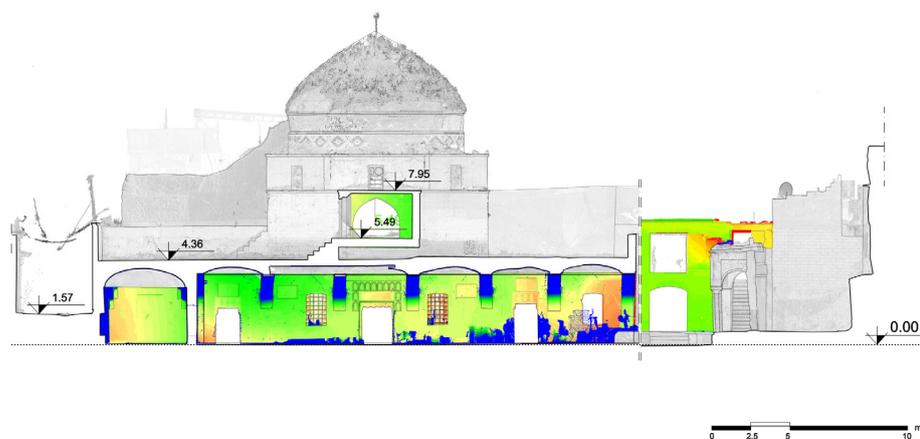



Fig. 11. Sezione con applicata una mappa delle deformazioni della facciata della moschea.

mostrassero le deformazioni fuori dal piano verticale delle superfici architettoniche, attraverso l'utilizzo della nuvola di punti e la sua colorazione (fig. 11) attraverso *elevation map* [Bigongiari, Picchio, Canestrale 2018].

Conclusioni

Il rilievo tridimensionale della moschea, come descritto ampiamente nel paragrafo precedente, ha così prodotto un corpus di documenti sulla morfologia dell'edificio e sullo stato di conservazione superficiale e strutturale dei suoi paramenti murari utili allo scopo della redazione di un progetto di riqualificazione e restauro dell'area. Sulla base delle indicazioni fornite dal rilievo infatti il gruppo di lavoro capitanato da Archimedia Trust, ha avuto la possibilità di valutare con precisione interventi ed incidenza in termine di volumi e costi.

Crediti

Il progetto di rilievo della Moschea di Al Raabiya, di cui è responsabile scientifico Stefano Bertocci, è stato affrontato durante una missione di rilievo svolta a Giugno 2021, coordinata da Matteo Bigongiari. Il progetto è stato realizzato in collaborazione con un gruppo di lavoro coordinato dall'associazione Archimedia Trust Onlus [Fontana 2022], sulla base di una proposta di finanziamento che ha ottenuto buona valutazione e disponibilità economica dalla fondazione Aliph, che principalmente si occupa di supportare progetti a base culturale su territori e patrimoni che hanno subito eventi legati alla guerra.

Riferimenti bibliografici

Bertocci S., Arrighetti A., Bigongiari M. (2019). Digital Survey for the Archaeological Analysis and the Enhancement of Gropina Archaeological Site. In *Heritage*, n. 2, pp. 848-857.

Bigongiari M., Pancani G., (2020). Digital survey for the structural analysis of the Verruca fortress. In *Procedia Structural Integrity*, n. 29, pp. 149-156.

Bigongiari M., Picchio F., Canestrale M. (2018). La documentazione della Moschea di Al-Jazzar ad Acri. Protocolli metodologici per un'analisi funzionale allo sviluppo del cantiere di restauro. In R. Salerno (a cura di). *Rappresentazione/Materiale/Immateriale. Atti del 40° Convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione*. Milano, 13-15 settembre 2017, pp. 1545-1552. Roma: Gangemi.

Colomina I., Molina P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, n. 92, 2014, pp. 79–97.

Fontana Antonelli G. (2022). The Restoration and Critical Reconstruction of Two Historic Mosques Severely Affected by Armed Conflict in Mosul (Iraq). In O. Niglio (a cura di). *Regenerating Cultural Religious Heritage*, pp. 269-276. Singapore: Springer.

Forti G. (2006). *Fotografia. Teoria e pratica della Reflex*. Milano: Hoepli.

Gaiani M. (a cura di). (2015). *I portici di Bologna, Architetture, modelli 3D e ricerche tecnologiche*. Bologna: Bononia University press.

Multiyroso A., Grussenmeyer P. (2017). Documentation of Heritage Buildings using Close-Range UAV images: dense matching issues, comparison and case studies. In *The photogrammetric Record*, vol. 32, pp. 206-229.

Pancani G. (2016). *Piazza dei Miracoli a Pisa: il Battistero Metodologie di rappresentazione e documentazione digitale 3D*. Firenze: Edifir.

Pancani G. (2017). Rilievo delle lastre tombali del Camposanto Monumentale di Piazza dei Miracoli a Pisa. In *Restauro archeologico*, n. 25(2), pp. 74-89.

Pancani G., Bigongiari M. (2020). The Integrated Survey of the Pergamum by Nicola Pisano in the Cathedral of Pisa. In H. Kremers (a cura di). *Digital Cultural Heritage*, pp. 373-388. Cham: Springer.

Autori
Stefano Bertocci, Università degli Studi di Firenze, stefano.bertocci@unifi.it
Matteo Bigongiari, Università degli Studi di Firenze, matteo.bigongiari@unifi.it

Per citare questo capitolo: Bertocci Stefano, Bigongiari Matteo (2023). *Remote sensing* e rilievo architettonico per il restauro della moschea Al Raabiya a Mosul (Iraq)/Remote Sensing and Architectural Survey for the Restoration of the Al Raabiya Mosque in Mosul (Iraq). In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2414-2430.

 Isbn 9788835155119

44th International Conference
of Representation Disciplines Teachers
Congress of Unione Italiana per il Disegno

Remote Sensing and Architectural Survey for the Restoration of the Al Raabiya Mosque in Mosul (Iraq)

Stefano Bertocci
Matteo Bigongiari

Abstract

The contribution presents the digital survey and documentation project of the Al-Raabiya Mosque in Mosul (Iraq). The historic center of Mosul was heavily damaged by the war against Daesh, and today the will and economic efforts for the reconstruction of the heritage are strong. The Department of Architecture of the University of Florence took part in the restoration project of this religious complex by supervising the remote sensing survey phases and the creation of the preliminary drawings for the planning phase. Thematic investigations were also conducted which highlighted the state of conservation of the surfaces and the plastic deformations of the wall structures. The information thus collected was used to support colleagues in the work team, coordinated by Archimedia Trust, in the design and restoration choices.

Parole chiave
Mosul, Remote Sensing, Digital Survey, Restoration

Section extracted from the point cloud of the Al-Raabiya Mosque. Graphic elaboration by the authors.

doi.org/10.3280/oa-1016-c413

Introduction

The purpose of this paper is to present the digital architectural survey and documentation project of the Al-Raabiya mosque in Mosul (Iraq) started in June 2021; the documentation of this monument is aimed at its reconstruction and restoration, with the aim of restoring a social point of reference to the community of the historic center of Mosul with the redevelopment of the Al-Raabiya Mosque complex; the survey operations were therefore aimed at acquiring the morphological, quantitative and qualitative knowledge of the buildings, which could scientifically support the drafting of a restoration project of the religious complex, which in 2017 suffered extensive damage, like most of the center history of the city, due to the war for the liberation of the city from the *Daesh* militias (fig. 1). The city of Mosul, after the misfortunes of the war, appears today as a large restoration site, where international organizations have begun to work to reopen the main civil and religious monuments and to put the places of residence back into operation, all violently affected by the bombing.
The role of the researchers of the University of Florence, Department of Architecture, has foreseen scientific support in all phases of the project, more actively in the first phases of acquisition and drafting of the architectural surveys, in addition the consultancy on the operational decisions of the project, supporting the skills of restorers and structural designers. The Al-Raabiya mosque is a religious complex in the historic center of Mosul, modest in size compared to the major mosques of the city (such as Al Noori). Over time the complex has been enlarged and heavily restored several times, until today it appears as a rectangular building surrounded on three sides by porticoes overlooked by the Koranic schools; it is positioned in the corner of a block in the historic centre, well identified by the iron minaret, certainly not by the bare perimeter walls covered with local stone, with no opening other than the small entrance portal. The portal leads to the courtyard, a desert of sand that was a flower garden before the war, surrounded on three sides by the rooms of the Madrasa (the reinforced concrete extension from the 1990s) and in the background the mosque, in turn side of the access on which the large dome can be glimpsed (fig. 2). The forms of the religious building in turn date back to a restoration in the 1990s which added the external portico and a drum to soar the dome which today has been covered with a new blue layer, heavily damaged by the bombings (fig. 3). On the right of the mosque a two-level building, which follows the topography of the block, sloping steeply towards the entrance, intended for the toilet facilities necessary to prepare for Muslim prayers.

Fig. 1. Satellite planimetry showing the state of conservation of the mosque before (2014) and after the bombings (2018). Google Earth.

Methodologies

The laser scanner survey of the Al-Raabiya Mosque was designed to create a point cloud that would describe all the surfaces of the architecture with such a definition as to allow the production of architectural drawings on a 1:50 scale: i.e. to be used to enter the results diagnos-

Fig. 2. Views of the worship building from the entrance of the complex before and after the bombing. Photos by the authors.

Fig. 3. View of the main building before the survey campaign, June 2020. Photos by the authors.

tic investigations from which it would have been possible to verify the presence of material and structural degradation and evaluate any instability mechanisms still in progress [Bigongiari 2020]. The scans were carried out with a Faro Focus S350 instrument, the characteristics of which allowed the rapid completion of highly reliable measurements, and with a large measuring range. The result of the acquisitions produced a point cloud in local coordinates resulting from the alignment of 145 scans. The correct registration process has been verified by aligning consecutive scans with a high margin of overlap with cloud-to-cloud processes, imitating the construction of topographic polygons, in order to be able to calculate the error on a closed perimeter; the error values obtained were verified by sectioning the model in several points with horizontal and vertical planes, checking the correct alignment of the points of the different acquisitions. Despite the presence of vegetation, which makes cloud-to-cloud alignments less reliable, the results guaranteed errors of less than 1.5 cm, measured on the distance of the points of different scans (figs. 4, 5).
The 3D photogrammetric survey, carried out in parallel with the range based acquisitions, was aimed at producing rectified images of the architectural surfaces to be used for mapping diagnostic investigations and to integrate those portions of the model that are difficult to measure from the ground; numerous acquisition campaigns have been carried out using both

Fig. 4. Planimetric view of the point cloud obtained from laser scanner data of the complex. Graphic elaboration by the authors.

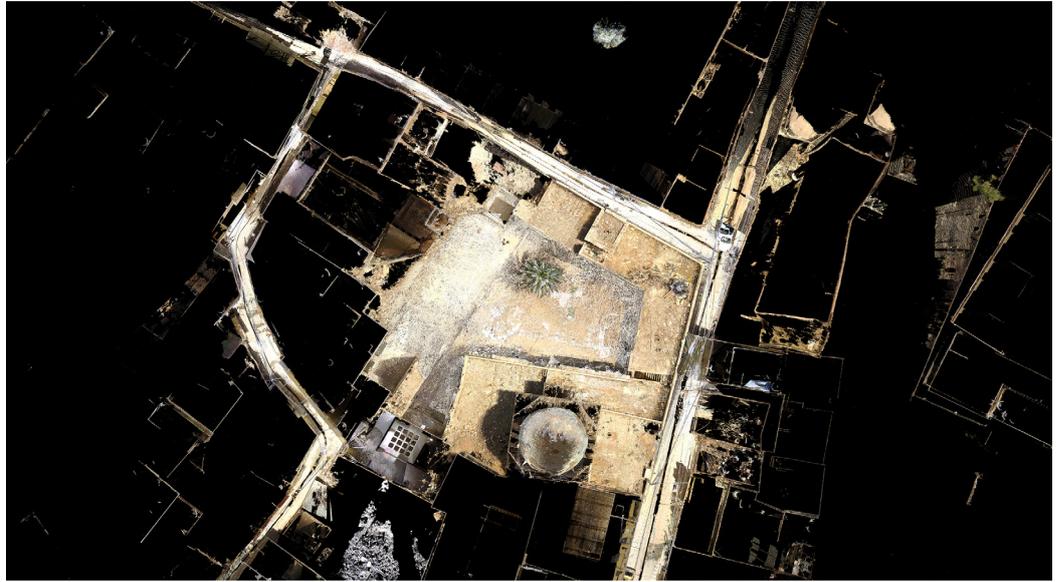
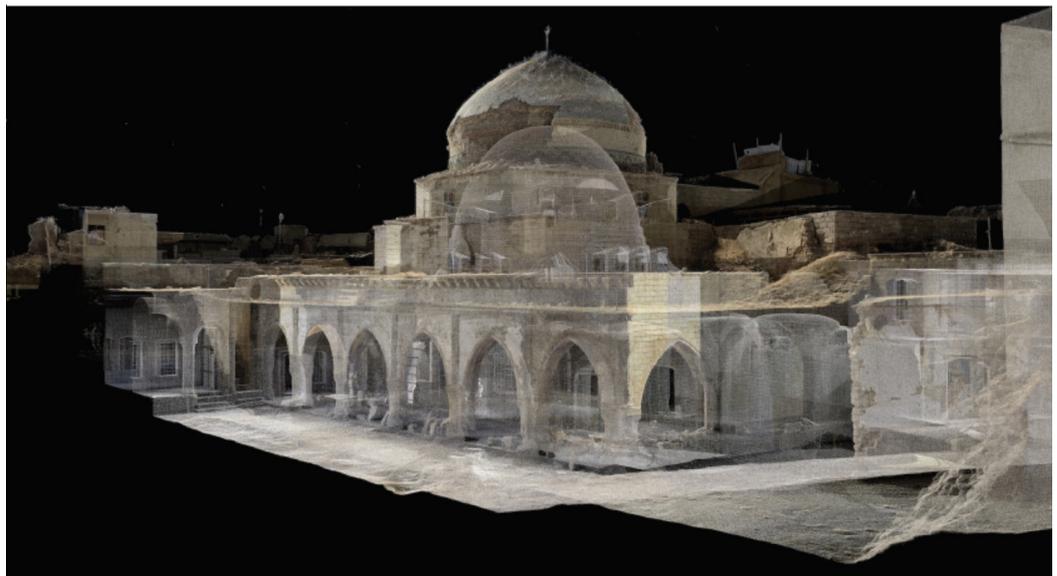



Fig. 5. Sectioned point cloud view of the complex. Graphic elaboration by the authors.

ground and drone-mounted cameras. The photographic survey of the mosque was complex due to a series of unfavorable lighting conditions due to the strong contrast between internal and external spaces. The photographic shooting campaigns were organized to solve these difficulties and to obtain a model that could describe the characteristics of the surfaces with a definition at least on a 1:50 scale. A Sony A7R II full frame mirrorless camera (42.4MP CMOS sensor) was used, in order to guarantee a high level of definition, which was able to describe the walls in its details. The drone acquisitions were instead made with a DJI Phantom 3 drone. To better reconstruct the surfaces of the mosque, it was decided to take shots following three levels of investigation: a first from the ground, moving around the object at close range, a second aerial that takes nadiral images, a third still aerial but tilting the camera towards the elevations to better capture the vertical walls [Gaiani 2015]. For the first sequence, from the ground, a Sony FE 28mm f/2 28mm lens was used, ideal for moving around objects even at close distances, less than 2 meters: with this lens all the external and internal surfaces of the mosque. The outdoor sequences used the drone's fixed lens.
Before proceeding with the processing of the data for the reconstruction of the three-dimensional scene, a careful quality control was carried out on the frames: an attempt was always made to keep within the safe shooting times in order to avoid the micromotion effect

[Forti 2006]. For this reason, the photos in .raw format were imported into a specific software in order to check the correct focus and adjust the parameters, equalising the white balance. Finally, the exposure of the surfaces was made more homogeneous by varying the parameter according to the shutter speed of the frame.
If in the case of laser scanner surveying it is possible to assess the definition directly from the instrument, in the case of photographic surveying it must be designed on the basis of the amount of pixels with which surfaces are defined [Colomina 2014; Multiyroso, Grussenmeyer 2017]. The photographic acquisitions maintained a ratio of at least 6px/cm with a minimum overlap margin between contiguous frames of 50% [Pancani 2016]. It was not possible to use ground targets to be measured with GPS instruments due to complexities of reading satellite data in Iraq. At the end of the data collection phase, thousands of images were imported and oriented in the Agisoft Metashape software during the 3D reconstruction process (figs. 6, 7). The photogrammetric point cloud was then scaled based on the laser scanner point cloud to check for survey errors. The models were merged by checkpoints showing alignment errors of less than 1.5 cm. During this processing, the various components of the photogrammetric models were tied together using control points.
The reliability of the reconstructions was verified by comparing different three-dimensional survey systems: the survey integrated different methodologies, producing different digital copies of the mosque with different levels of reliability. We can summarise the acquisitions into two different reconstruction systems: laser scanner, SfM. The first of these measurement methods is able to provide a measurement within certain error parameters: the single scan by laser scanner in fact, according to the instrument model, guarantees high reliability, in our case millimetric. Unfortunately, the same cannot be said of photogrammetric reconstructions, although the positioning of the shooting point is supported by the presence of a GPS on the drone: the positioning of the shooting point, in fact, does not guarantee the correct reconstruction of the point clouds, which are influenced by numerous problems linked to the light source [Pancani, Bigongiari 2020]. For this reason, after a thorough check of the registration process, the laser scanner survey was taken as the morphological basis, whose polar coordinates were used to verify the control points of the photogrammetric survey.
The final model showed minimal deviations from the laser scanner model, less than 1 cm except for the built-up areas outside the building, at the edges of the reconstructed model. Both databases were subjected to data certification protocols in order to verify the reliability of both scan registration and photoplane calibration on the point cloud [Pancani 2017].
Following the survey campaign, the post-production phase of the collected data began with the creation of a database containing all the material acquired by laser scanner, reflex camera and drone. The purpose of cataloguing the aforementioned material is to simplify the work

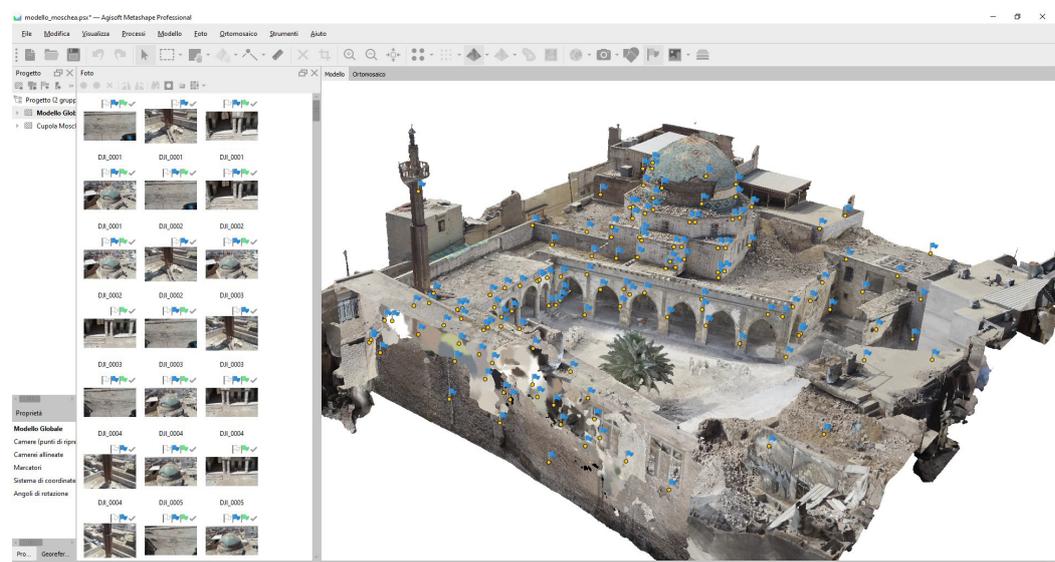



Fig. 6. View of the model obtained from ground and drone photographs with applied control points for reliability verification. Graphic elaboration by the authors.

Fig. 7. Planimetry of the complex obtained through the orthophoto of the photogrammetric model. Graphic elaboration by the authors.

of checking, even at a distance, then interrogating and creating 2D/3D outputs that will be used for the study, comparison and analysis of the present case study. The data collected is processed to produce two-dimensional drawings of the state of conservation of the mosque and its rooms (figs. 8, 9), to be compared and analysed in the preparation of a restoration project for the entire monumental complex. The aim of the survey is to pay particular attention to all those features of the architectural object that can provide important information about the artefact. It is therefore fundamental to identify the structural parts at a scale of detail that is useful for defining the different masonry sections, the stone working process and the relationships between masonry and adjacent architectural elements. In addition to morphological studies, detailed photographic information is required to determine these characteristics; in fact, photographic data facilitate the process of detecting the stratigraphic units, and it is precisely in the management of the graphic data that photography is of fundamental importance, as it is the expression of a more objective datum compared to the wireframe drawing of the stones, which clearly depends on the subjective interpretation of the designer [Bertocci, Arrighetti, Bigongiari 2019].
In the first phase of study and analysis, a minimum number of sections and elevations were quantified from which a documentary basis could be obtained to support the restoration design. All the material was then inserted into a 2D CAD environment for the creation of vector drawings where the material and structural characteristics of the architecture could be read. An analysis of the surface deterioration of the masonry was carried out following the standards (UNI and Normal) that provide for the use of polylines and identification screens. For an easier identification of the phenomena of degradation of the stone materials constituting the external surfaces of the buildings, a synoptic table was drawn up in which they were classified according to their description, the causes from which they are generated, the photographic reproduction and the graphic representation on the drawings (fig. 10). As a result of this analysis, the areas most subject to degradation were identified and quantified, allowing an estimate of the expenses for cleaning and restoration of the masonry.
Particular attention was paid to identifying the structural units and aggregates that make up the building and analysing their static behaviour. In order to verify the structural stability of the masonry, graphical maps were produced showing the deformations out of the vertical plane of the architectural surfaces, through the use of the point cloud and its colouring (fig. 11) by means of elevation maps [Bigongiari, Picchio, Canestrale 2018].

Fig. 8. Section showing the facade of the mosque with the orthophoto obtained from the photogrammetric model applied. Graphic elaboration by the authors.

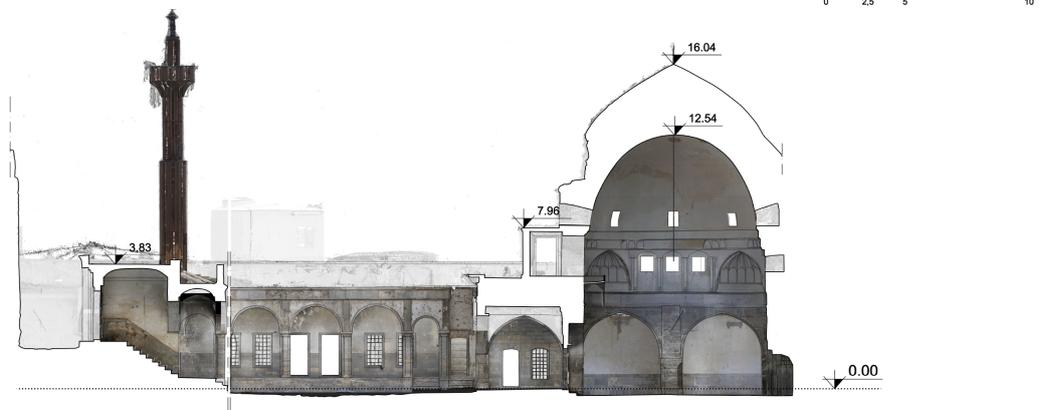



Fig. 9. Section cutting through the centre of the dome of the mosque with the orthophoto obtained from the photogrammetric model applied. Graphic elaboration by the authors.

Conclusions

The three-dimensional survey of the mosque, as extensively described in the previous paragraph, has thus produced a body of documents on the morphology of the building and the superficial and structural state of conservation of its masonry walls, useful for the purpose of drawing up a redevelopment and restoration project for the area. On the basis of the indications provided by the survey, in fact, the working group, led by Archimedia Trust, was able to accurately evaluate interventions and their impact in terms of volumes and costs.

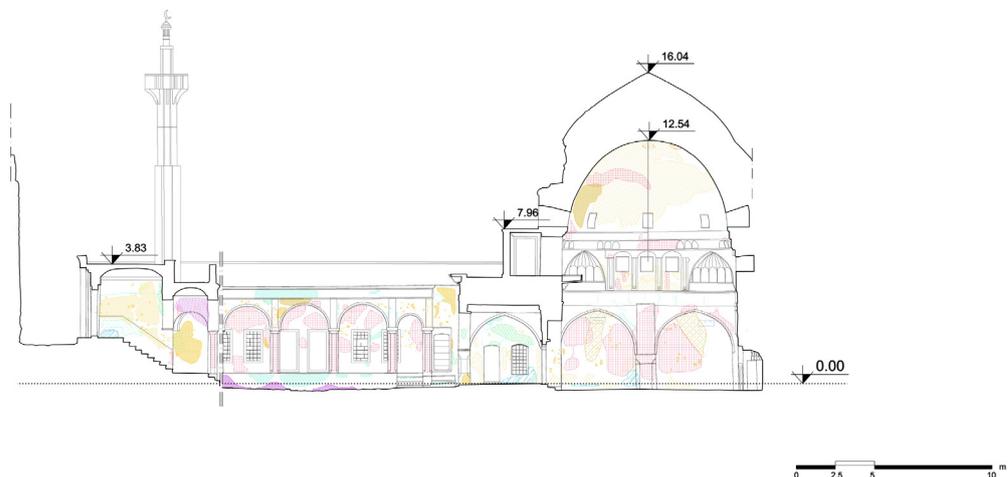
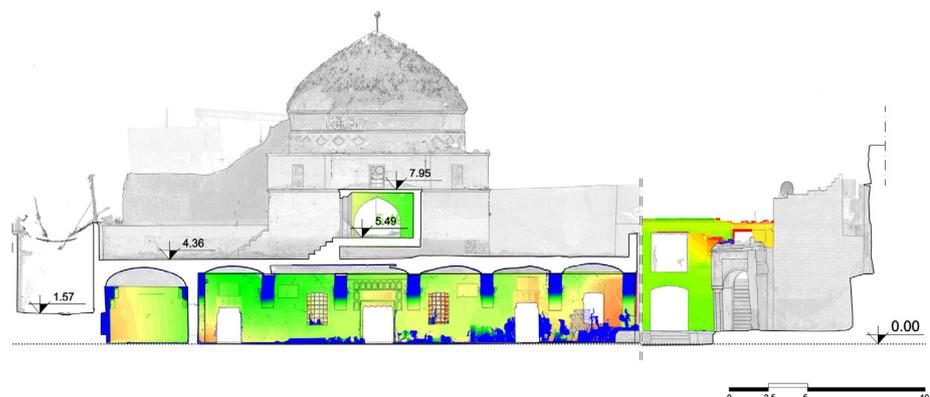



Fig. 10. Section showing the mapping of surface degradation. Graphic elaboration by the authors.

Fig. 11. Section with applied deformation map of the mosque façade. Graphic elaboration by the authors.

Credits

The survey project of the Al Raabiya Mosque, for which Stefano Bertocci is scientifically responsible, was tackled during a survey mission carried out in June 2021, coordinated by Matteo Bigongiari. The project was carried out in collaboration with a working group coordinated by the Archimedia Trust Onlus association [Fontana 2022], on the basis of a funding proposal that was well evaluated and financially available by the Aliph foundation, which mainly supports cultural-based projects on territories and heritages that have suffered war-related events.

References

Bertocci S., Arrighetti A., Bigongiari M. (2019). Digital Survey for the Archaeological Analysis and the Enhancement of Gropina Archaeological Site. In *Heritage,* No. 2, pp. 848-857.

Bigongiari M., Pancani G., (2020). Digital survey for the structural analysis of the Verruca fortress. In *Procedia Structural Integrity*, No. 29, pp. 149-156.

Bigongiari M., Picchio F., Canestrale M. (2018). La documentazione della Moschea di Al-Jazzar ad Acri. Protocolli metodologici per un'analisi funzionale allo sviluppo del cantiere di restauro. In R. Salerno (Ed.). *Drawings as (in)tangible Representation. Proceedings of the 42th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milan, 13-15 September 2017, pp. 1545-1552. Rome: Gangemi.

Colomina I., Molina P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, No. 92, 2014, pp. 79–97.

Fontana Antonelli G. (2022). The Restoration and Critical Reconstruction of Two Historic Mosques Severely Affected by Armed Conflict in Mosul (Iraq). In O. Niglio (Ed.). *Regenerating Cultural Religious Heritage*, pp. 269-276. Singapore: Springer.

Forti G. (2006). *Fotografia. Teoria e pratica della Reflex*. Milan: Hoepli.

Gaiani M. (Ed.). (2015). *I portici di Bologna, Architetture, modelli 3D e ricerche tecnologiche*. Bologna: Bononia University press.

Multiyroso A., Grussenmeyer P. (2017). Documentation of Heritage Buildings using Close-Range UAV images: dense matching issues, comparison and case studies. In *The photogrammetric Record*, Vol. 32, pp. 206-229.

Pancani G. (2016). *Piazza dei Miracoli a Pisa: il Battistero Metodologie di rappresentazione e documentazione digitale 3D*. Florence: Edifir.

Pancani G. (2017). Rilievo delle lastre tombali del Camposanto Monumentale di Piazza dei Miracoli a Pisa. In *Restauro archeologico*, No. 25(2), pp. 74-89.

Pancani G., Bigongiari M. (2020). The Integrated Survey of the Pergamum by Nicola Pisano in the Cathedral of Pisa. In H. Kremers (Ed.). *Digital Cultural Heritage*, pp. 373-388. Cham: Springer.

Authors
Stefano Bertocci, Università degli Studi di Firenze, stefano.bertocci@unifi.it
Matteo Bigongiari, Università degli Studi di Firenze, matteo.bigongiari@unifi.it

To cite this chapter: Bertocci Stefano, Bigongiari Matteo (2023). *Remote sensing* e rilievo architettonico per il restauro della moschea Al Raabiya a Mosul (Iraq)/Remote Sensing and Architectural Survey for the Restoration of the Al Raabiya Mosque in Mosul (Iraq). In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (Eds.). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2414-2430.

 Isbn 9788835155119